

Математические методы исследования

Mathematical methods of investigation

DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-7-67-76

УДК (UDC) 519.24:530.145

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ВЕДУЩИХ СТРАН В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© Андрей Сергеевич Мохов, Владимир Олегович Толчев

Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва, Россия,
e-mail: asmokhov@mail.ru, tolcheevvo@mail.ru

Статья поступила 13 марта 2018 г.

Приведен анализ публикационной активности ведущих стран в сфере квантовых технологий (КТ), которые включают следующие основные направления: квантовые компьютеры и симуляторы; квантовые сенсоры и датчики; квантовая передача данных; квантовая метрология. Данна общая характеристика рассматриваемой предметной области и проведен ее научометрический анализ. Для исследований использована выборка библиографических публикаций, сформированная из базы данных Web of Science и охватывающая период 2000 – 2016 гг. По полученной выборке оценены темпы роста печатных трудов по КТ в ведущих странах за указанный промежуток времени, выявлены государства-лидеры по количеству статей (по вышенназванным основным направлениям развития КТ), определены публикационная активность России и интенсивность международного сотрудничества. Результаты исследований позволили в качестве лидеров выделить США и КНР. Для них построены регрессионные зависимости, позволяющие описать функции роста числа публикаций, и представлены прогнозы. С помощью критерия знаков и критерия Вилкоксона для связанных пар наблюдений проверена гипотеза о наличии существенных различий в публикационной активности США и КНР. Оба теста на уровне значимости $\alpha = 0,05$ не обнаружили существенных расхождений между количеством статей США и КНР по двенадцати тематикам рубрикатора БД Web of Science. Вместе с тем выявлено значительное преимущество американских ученых по числу публикаций в области квантовых вычислений и создания универсального квантового компьютера. Первенство в этой области является главным условием «квантового» доминирования, которое подразумевает существенное ускорение вычислений, прежде всего, дешифрования большинства используемых алгоритмов защиты информации.

Ключевые слова: квантовые технологии; научометрический анализ; реферативная база данных Web of Science; регрессионный анализ; прогноз; непараметрические критерии.

ANALYSIS OF PUBLICATION ACTIVITY OF THE LEADING COUNTRIES IN THE FIELD OF QUANTUM TECHNOLOGIES

© Andrey S. Mokhov, Vladimir O. Tolcheev

National research university “Moscow power engineering institute”, Moscow, Russia;
e-mail: asmokhov@mail.ru, tolcheevvo@mail.ru

Submitted March 13, 2018.

The publication activity of the leading countries in the field of quantum technologies (QT), which include quantum computers and simulators, quantum sensors, quantum data transmission, and quantum metrology is analyzed. A general characteristic of the subject domain and scientometric analysis is carried out using the research chops from the Web of Science database covering the period 2000 – 2016. The sample of bibliographic publications is used to (i) estimate the growth rate of publications on QT in the leading countries (for the indicated period of time), (ii) identify the leading states in the number of publications (on the above-mentioned main directions of QT development), and (iii) determine the publication activity of Russia and the intensity of international cooperation. The results of the research demonstrated, that the USA and China are the leading countries in the field of quantum technologies. Regression dependences are constructed which provide forecasting and description of the functions

reflecting the increasing number of publications in aforementioned countries. Using the criterion of signs and the Wilcoxon test for coupled pairs of observations, the hypothesis of significant differences in the publication activity of the United States and China was tested. Both tests at the level of significance $\alpha = 0.05$ did not reveal significant discrepancies between the number of articles in the US and China on the twelve topics of the Web of Science database. At the same time, a significant advantage of American scientists in the number of publications in the field of quantum computations and creation of a universal quantum computer has been revealed. The primacy in this area is the main condition of “quantum” domination, which implies a significant acceleration of calculations, primarily, decryption of most of the algorithms used to protect information.

Keywords: quantum technologies; scientometric analysis; research chops; Web of Science database; regression analysis; forecasts; nonparametric criteria.

Квантовые технологии (КТ, Quantum Technologies) относятся к быстро развивающимся предметным областям, которые в настоящее время находятся в центре внимания научного сообщества [1 – 4]. Как предполагается, ожидаемые результаты окажут значительное (возможно даже определяющее) влияние на усиление научно-технического потенциала различных стран [5 – 7]. В данной работе проведен сравнительный анализ публикационной активности ведущих государств в сфере КТ на основе публикаций, содержащихся в международной базе данных (БД) Web of Science (рассмотрен период с 2000 по 2016 г.).

КТ основаны на организации скоординированного взаимодействия квантовыми элементами на микроуровне в целях создания применимых на практике устройств. В настоящее время в сфере КТ наиболее успешные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) ведутся по следующим направлениям [8 – 10]:

1) универсальные квантовые компьютеры (Quantum Computers), способные реализовывать различные вычислительные операции, в частности, выполнять алгоритм Шора;

2) квантовые симуляторы (Quantum Simulators), осуществляющие отдельные вычислительные операции, например, операции быстрого поиска и перебора, которые важны для решения оптимизационных задач;

3) квантовая передача данных по защищенным линиям связи и квантовое распределение ключей (Quantum Communication);

4) квантовые сенсоры и датчики (Quantum Sensing), обеспечивающие высокую точность и имеющие малые габариты;

5) квантовая метрология (Quantum Metrology), включающая создание сверхточных хронометров, необходимых для повышения качества GPS навигации.

В последнее время среди специалистов и экспертов все чаще стал употребляться термин «квантовое доминирование», который подразумевает прежде всего создание универсального

квантового компьютера (УКК), обладающего сверхвысоким быстродействием и способного с помощью алгоритма Шора дешифровать большинство известных закрытых протоколов передачи информации [11 – 13]. Появление УКК окажет не только определяющее влияние на развитие систем информационной безопасности, но и существенным образом ускорит расчеты, необходимые для создания новых материалов с заданными свойствами, лекарств, поиска и обработки информации, моделирования работы мозга и т.п. Таким образом, страна, создавшая первую УКК и обеспечившая себе «квантовое доминирование», быстро достигнет существенного отрыва от конкурентов по ряду перспективных научно-технических направлений [14 – 16]. Важно отметить, что для получения «квантового доминирования» не обязательно быть лидером по всем основным тематикам КТ, достаточно превосходства в ключевой проблематике — построении универсального квантового компьютера.

В предлагаемой статье в центре внимания находятся следующие вопросы — какие позиции занимают ведущие страны в сфере КТ и можно ли на базе имеющихся общемировых публикаций сделать вывод, что какое-либо государство близко к созданию УКК и достижению «квантового доминирования».

Формирование выборки и проведение исследований

Запрос к библиографической БД Web of Science состоял из слова «Quantum». Полученная выборка включала статьи, которые содержат данное слово хотя бы в одном поле библиографического англоязычного документа — названии, аннотации или ключевых словах. Как отмечено ранее, в работе рассмотрен период с 2000 по 2016 г. Для проведения исследований также использовали информацию о месте работы авторов. Именно на основе этих сведений составляли суждения о принадлежности публикации к определенной стране. Так, работу считали «российской», если хотя бы у одного автора в поле «место

работы» указывается — «Russia». В случае если материал являлся результатом международного сотрудничества, то эту публикацию засчитывали всем странам, представители которых были авторами. Обработку и анализ сформированной выборки проводили с использованием программы STATISTICA.

По полученной выборке оценим темпы роста публикаций по КТ в ведущих странах, определим лидеров по количеству публикаций по основным направлениям развития КТ, проведем анализ публикационной активности России и интенсивности сотрудничества между государствами.

В период 2000 – 2016 гг. количество печатных трудов в мире по КТ возросло в два раза: 2000 г. — 15 068 публикаций; 2016 г. — 31 577 публикаций (см. рис. 1 и табл. 1).

На национальном уровне наибольшие темпы роста числа печатных работ за рассматриваемый период отмечены в Китае — 7,67. Затем следует Индия — 6,17, Республика Корея — 4,15, Канада — 2,7, Бразилия — 2,46. США, Германия, Япония, Великобритания, Франция и Россия имеют весьма умеренные темпы роста, равные соответственно 1,62; 1,57; 1,28; 1,83; 1,86 и 1,52.

Первое место в 2016 г. по количеству публикаций занял Китай — 9463 статьи (почти 30 % от общего числа печатных работ), второе место — США — 8215 статей (26 %), третье место — Германия — 4068 статей (12,8 %). По количеству проиндексированных документов в Web of Science в 2016 г. лидирующие позиции также у Японии (2559 статей; 8,1 %), Великобритании (2546;

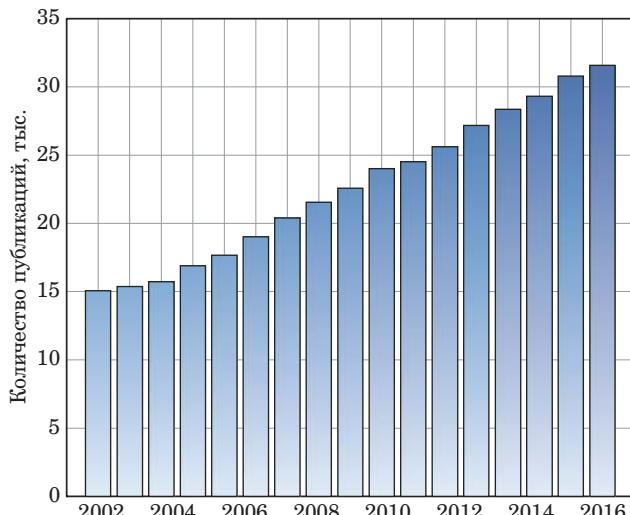


Рис. 1. Изменение числа публикаций по квантовым технологиям в период 2000 – 2016 гг.

8 %), Индии (2532; 8 %), России (2340; 7,41 %), Франции (2265; 7,17 %).

Изменение числа публикаций за семнадцатилетний период для ряда стран (США, КНР, ФРГ, Япония, Великобритания, Россия) приведены на рис. 2.

Несмотря на лидерство Китая по количеству печатных трудов в 2016 г. за весь семнадцатилетний период наибольшее число статей было опубликовано в США — 114 385. Затем следуют Китай — 75 576, Германия — 55 200, Япония — 39 669, Великобритания — 31 494, Франция — 30 174, Россия — 29 575, Индия — 19 533.

Таблица 1. Количество публикаций ведущих стран в области КТ за период 2000 – 2016 гг.

Год	Все страны	США	КНР	ФРГ	Япония	Великобритания	РФ	Франция	Индия	Ю. Корея
2000	15 068	5069	1233	2583	1986	1385	1537	1215	410	334
2001	15 368	4826	1371	2516	2250	1356	1592	1264	461	478
2002	15 712	5166	1455	2664	2017	1308	1565	1314	494	428
2003	16 899	5604	1604	2610	2189	1496	1570	1383	493	542
2004	17 662	5779	1940	2675	2058	1509	1646	1494	510	594
2005	19 014	6290	2377	2823	2274	1556	1501	1521	611	646
2006	20 394	6552	3040	2975	2258	1677	1624	1727	722	687
2007	21 542	6634	3483	3048	2457	1815	1621	1813	795	791
2008	22 569	6759	4071	3173	2393	1960	1628	1861	849	846
2009	24 006	7214	4476	3385	2553	1999	1679	1945	1070	902
2010	24 521	7282	4879	3629	2403	1951	1646	1998	1176	944
2011	25 623	7313	5611	3626	2461	1930	1740	1966	1379	1029
2012	27 174	7824	6457	3761	2460	2098	1815	2025	1674	1093
2013	28 357	7997	7156	3782	2603	2070	1831	2068	1839	1191
2014	29 324	7927	7990	3844	2343	2348	1961	2092	2124	1279
2015	30 790	7934	8972	4038	2404	2490	2279	2223	2394	1314
2016	31 577	8215	9463	4068	2559	2546	2340	2265	2532	1387

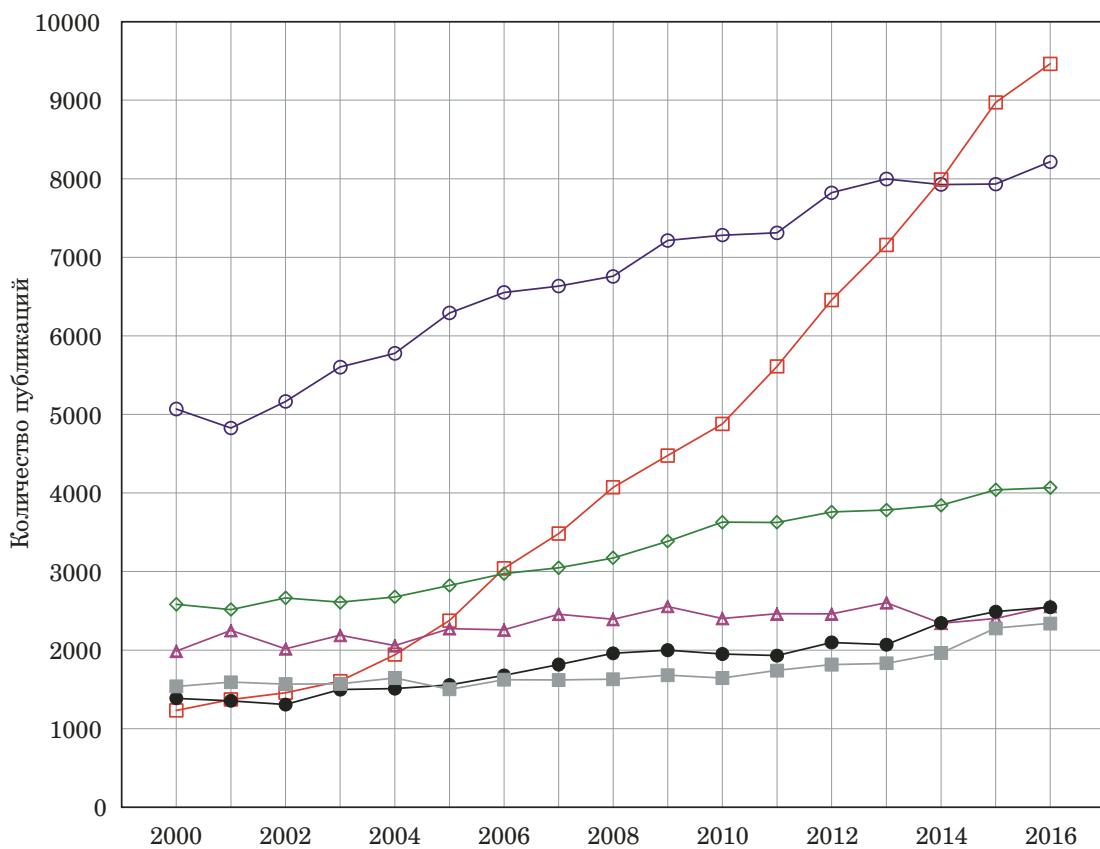


Рис. 2. Количество публикаций ведущих стран в период 2000 – 2016 гг.: ○ — США; □ — КНР; ◊ — ФРГ; △ — Япония; ● — Великобритания; ■ — РФ

Данные табл. 1 и зависимости, представленные на рис. 2, показывают чрезвычайно быстрый ежегодный рост публикаций в КНР.

Спрогнозируем, какое число американских и китайских работ ожидается в 2017 г. В настоящее время точное значение нам неизвестно, поскольку в Web of Science пока еще идет обработка данных и не все проиндексированные работы предыдущего года включены в БД.

Построим линейную парную регрессию: $Y = b_0 + b_1X$, где Y — количество публикаций; X — годы; b_0 и b_1 — неизвестные коэффициенты парной линейной регрессии.

Определение оценок коэффициентов b_0 и b_1 затруднено малым размером выборки (всего семнадцать отчетов) и невыполнением исходных предположений регрессионного анализа [17]. Оценивание по малым выборкам, как известно, может привести к получению неадекватных моделей. Принимая во внимание наличие этих негативных факторов, вычислим оценки неизвестных коэффициентов с помощью программы STATISTICA.

Линейная регрессия хорошо аппроксимирует зависимость для США: $Y_{(\text{США})} = 4770,9 + 217,5X$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,98$, коэффициенты b_0 и b_1 значимы. Прогноз на 2017 г. —

8686 публикаций (доверительный интервал [8451; 8920], уровень значимости $\alpha = 0,05$).

Предварительный анализ зависимости ежегодного роста публикаций в КНР позволяет выбрать два варианта построения регрессионных зависимостей:

- 1) парная линейная регрессия $Y = b_0 + b_1X$;
- 2) полиномиальная регрессия второго порядка $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$.

Линейная регрессия имеет вид: $Y_{(\text{КНР})1} = 961,19 + 630,68X$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,99$, коэффициенты b_0 и b_1 значимы. Прогноз на 2017 г. 9795 публикаций (доверительный интервал [9405; 10185], уровень значимости $\alpha = 0,05$).

Полиномиальная регрессия второго порядка имеет вид: $Y_{(\text{КНР})2} = 967 + 111,95X + 23,52X^2$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,99$, коэффициенты значимы при $\alpha = 0,05$. Прогноз на 2017 г. — 1060 публикаций. Важно отметить, что данное значение попадает в доверительный интервал для линейной парной регрессии, т.е. на незначительном промежутке времени линейная и полиномиальная регрессии дают близкие прогнозы.

Построенные зависимости позволяют сделать вывод о том, что Китай в ближайшие годы упро-

чит свой отрыв от других стран по количеству документов, ежегодно индексируемых в БД Web of Science. Так, прогнозирование по линейным зависимостям позволяет предсказать, что к 2030 г. китайцы будут издавать около 18 тысяч работ, в то время как американцы только 11,5 тысяч. К этому моменту времени США может также потерять лидерство по общему количеству публикаций.

Анализ публикаций по КТ показывает, что основное число научных трудов соответствует следующим двенадцати разделам экспертно составленного рубрикатора Web of Science (табл. 2):

- 1) прикладная физика (ПФ, Physics Applied);
- 2) междисциплинарные вопросы материаловедения (МВМ, Materials Science Multidisciplinary);
- 3) физическая химия (ФХ, Chemistry Physical);
- 4) оптика (ОП, Optics);
- 5) междисциплинарные вопросы физики (МВФ, Physics Multidisciplinary);
- 6) физика конденсированных сред (ФКС, Physics Condensed Matter);
- 7) общие вопросы химии (ОВХ, Chemistry Multidisciplinary);
- 8) атомная, молекулярная и химическая физика (АМиХФ, Physics Atomic Molecular and Chemical);
- 9) нанонаука и нанотехнологии (НиН, Nanoscience and Nanotechnology);
- 10) электротехника и электроника (ЭиЭ, Engineering Electrical and Electronic);
- 11) физика квантовых полей (ФКП, Physics, Particles & Fields);
- 12) математическая физика (МФ, Physics, Mathematical).

В табл. 2 приведены семь стран, которые входят в первую десятку по всем вышеуказанным областям. Лидерство в каждой области по количеству публикаций принадлежит США или КНР. США занимает первое место в семи тематиках, Китай — в пяти. В десятку лучших по публика-

циям также достаточно часто входили Италия — 11 раз, Россия — 10 (наша страна отсутствует в междисциплинарных вопросах материаловедения и атомной, молекулярной и химической физике), а также Республика Корея, которая специализируется в пяти направлениях.

В табл. 2 номер столбца соответствует номеру рубрикатора Web of Science из вышеприведенного списка. Отметим, что каждая статья в БД Web of Science может быть отнесена одновременно к нескольким разделам рубрикатора, в данном исследовании учитывался только раздел рубрикатора, который был указан первым.

Как отмечено ранее, США занимает первое место в семи тематиках, Китай — в пяти. Для сопоставления публикационной активности США и КНР (обнаружения значимых различий в количестве публикаций по тематикам) применим непараметрические критерии (критерий знаков и критерий Вилкоксона для связанных пар наблюдений) [18]. Проверим нулевую гипотезу об однородности генеральных совокупностей по попарно связанным выборкам. Данными для анализа являются первые две строки табл. 2, в качестве вычислительного средства использовали программу STATISTICA, уровень значимости $\alpha = 0,05$.

Оба теста не обнаружили существенных различий между публикационными показателями США и КНР по двенадцати тематикам рубрикатора БД Web of Science. Нет оснований по имеющимся данным отвергать нулевую гипотезу (выборки однородны, их элементы взаимозаменяемы).

Сопоставим результаты двух лидеров (США, Китая) и России по десяти из двенадцати вышеуказанных тематик (выбраны тематики, по которым Российская Федерация входит в первую десятку). Эти результаты представлены в табл. 3 и на рис. 3 (для обозначения предметных областей использованы введенные ранее сокращения).

Несмотря на существенное отставание от лидеров — США и Китая, российские учёные демонстрируют достаточно высокие публикацион-

Таблица 2. Страны, имеющие наибольшее количество публикаций по разделам рубрикатора Web of Science

Страны	Разделы рубрикатора											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
США	1342	1215	1380	1208	910	1090	793	1098	1291	563	613	356
КНР	1624	1949	1231	1143	1212	843	1518	704	891	428	254	321
ФРГ	640	427	508	624	499	687	377	573	287	238	297	233
Великобритания	350	244	257	349	337	256	189	345	162	174	227	164
Франция	328	253	303	316	279	355	199	287	188	146	157	151
Япония	562	381	312	296	306	301	246	257	215	257	177	128
Индия	353	424	417	216	207	306	338	232	229	247	144	97

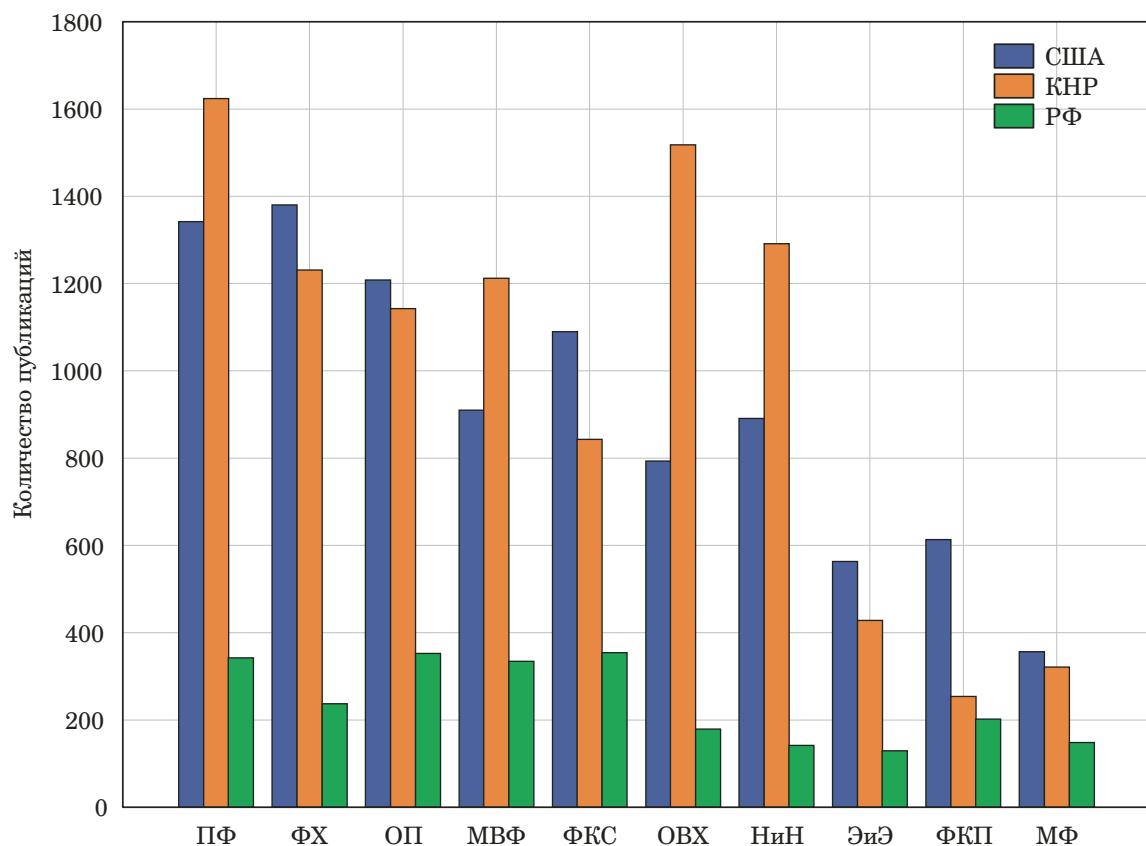


Рис. 3. Количество публикаций США, КНР и России по десяти разделам рубрикатора WOS в 2016 г.

ные показатели в области КТ. Это, как представляется, свидетельствует о существенном заделе по квантовой проблематике, накопленном еще с советских времен. Большинство этих достижений сосредоточено в сферах, в которых российские специалисты традиционно наиболее успешны (физика, химия).

Ранее отмечалось, что для получения «квантового превосходства» необходимо добиться прорывных результатов в области создания универсального квантового компьютера, способного

реализовывать алгоритм Шора. Однако эта тематика «растворяется» среди рубрик БД Web of Science. В связи с этим интерес представляет отдельный анализ публикационной активности различных стран в области построения УКК.

Для формирования новой выборки был использован запрос «Quantum Computing» (квантовые вычисления). Результирующая выборка будет содержать это словосочетание (в строго заданной последовательности) во всех полях библиографического описания. Отметим, что «Quantum Computing» несколько более широкая проблематика, чем УКК. Однако ее использование обосновано, так как позволяет добиться большей полноты поиска (т.е. необходимо найти как можно больше релевантных публикаций), при этом не исключаются некоторые потери в точности, в частности, выборка будет содержать работы не только по УКК, но и по квантовым симуляторам. Ввиду близости тематик и их взаимопересекаемости такой подход способен корректно отразить интенсивность проводимых НИОКР по изучаемой тематике.

В табл. 4 приведены показатели четырех стран-лидеров: США, Китая, Канады и Японии (к сожалению, Россия в этом направлении не входит в первую десятку). Отметим следующие особенности полученных результатов.

Таблица 3. Количество публикаций США, КНР и России по десяти разделам рубрикатора WOS в 2016 г.

Предметная область	США	КНР	РФ
ПФ	1342	1624	342
ФХ	1380	1231	237
ОП	1208	1143	352
МВФ	910	1212	334
ФКС	1090	843	354
ОВХ	793	1518	179
НиН	891	1291	142
ЭиЭ	563	428	129
ФКП	613	254	202
МФ	356	321	148

1. Число публикаций по тематике квантовых вычислений за рассматриваемый период увеличилось практически в четыре раза, т.е. росло значительно быстрее количества статей по квантовым технологиям в целом.

2. Лидеры остались неизменными — США и Китай существенно опережают другие страны. Однако в данной проблематике наблюдается достаточно очевидное доминирование Соединенных Штатов, которые прочно удерживают передовые позиции в создании квантовых симуляторов и компьютеров. В настоящее время основные работы посвящены выбору наиболее эффективного способа организации квантовых вычислений, причем построение первых прототипов УКК, как считают эксперты, может состояться в течение ближайшего десятилетия [3, 4, 10].

3. В борьбе за третье место появилась Канада, отсутствовавшая в девяти (из двенадцати) вышеприведенных тематиках рубрикатора Web of Science в первой десятке. Это объясняется важной ролью, которую в настоящее время играет канадская фирма D-Wave Systems в развитии квантовых вычислений, в частности, в построении первого в мире адиабатического квантового компьютера. Однако эта разработка относится к классу квантовых симуляторов и не способна реализовать алгоритм Шора, обеспечив «квантовое» доминирование [19].

Таким образом, анализ публикационной активности в наиболее перспективной области КТ — квантовых вычислениях, развитие которой

способно привести к революционным изменениям, позволяет сделать вывод о лидерстве США.

Несмотря на сильную конкуренцию между США и КНР по всем направлениям развития КТ, исследование сформированной выборки показывает высокий уровень их взаимодействия. Так, США является основным партнером КНР по изанию совместных публикаций (затем следуют с большим отрывом Германия и Япония).

Для остальных стран, представленных в табл. 5 и на рис. 4, США также являются ключевым партнером. Именно американцы имеют наибольшее число статей, выполненных в соавторстве с иностранцами.

Анализируя российское международное сотрудничество, отметим, что большинство совместных публикаций выполняется в кооперации с немецкими и американскими учеными. Количество российских публикаций в области КТ, подготовленных в сотрудничестве с иностранцами, составляет 12 614 статей (42,6 % от общего массива российских работ, проиндексированных в Web of Science в период с 2000 по 2016 г.).

Таким образом, проведен комплексный анализ перспективных и быстро развивающихся научных направлений, объединенных под общим термином «квантовые технологии». Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Рассматриваемая предметная область имеет высокие темпы роста и находится в стадии быстрого развития. За отмеченный период времени общее число профильных публикаций увеличи-

Таблица 4. Количество публикаций по квантовым вычислениям в мире и ведущих странах

Год	Общее число статей	США	КНР	Канада	Япония
2000	118	54	4	4	5
2001	168	71	6	6	10
2002	203	80	14	14	19
2003	246	101	14	18	30
2004	214	85	10	21	17
2005	269	107	22	18	15
2006	233	87	22	16	14
2007	312	98	41	23	20
2008	313	97	41	14	18
2009	516	161	89	58	37
2010	271	95	48	20	23
2011	283	98	40	22	22
2012	298	87	44	21	27
2013	298	96	47	22	21
2014	340	96	70	22	26
2015	380	110	65	17	20
2016	407	135	70	27	25

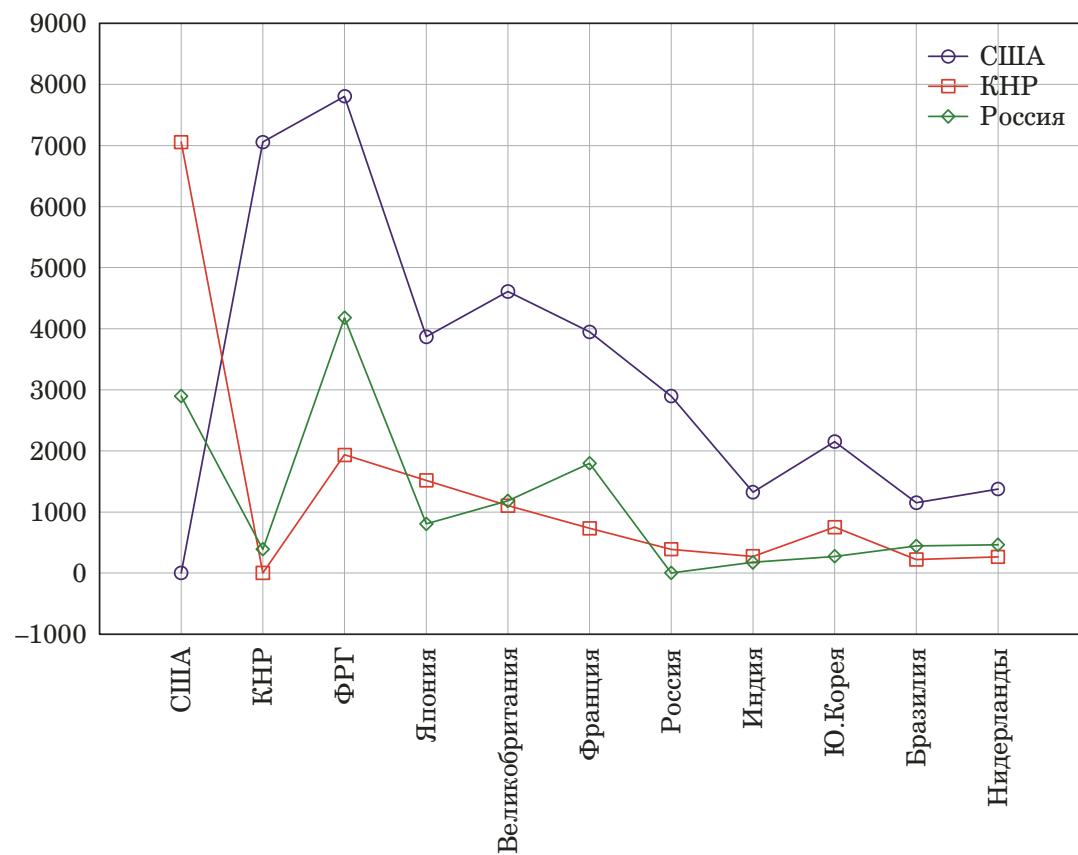


Рис. 4. Количество публикаций ведущих стран, выполненных в рамках международного сотрудничества

лось более чем в два раза и прогнозируется продолжение данной тенденции.

2. Как и во многих других перспективных технологиях, в КТ наблюдается соперничество между двумя лидерами — США и КНР. При этом США сохраняет первенство по общему количеству публикаций, а КНР по темпам роста публикационной активности и количеству ежегодно издаваемых научных материалов. Соединенные Штаты занимают лидирующие позиции в квантовых

вычислениях, в рамках которых разрабатывается универсальный квантовый компьютер, способный обеспечить одной из стран «квантовое доминирование». Вместе с тем, как считают эксперты, текущий уровень разработок не позволяет в перспективе до 2025 г. выйти на создание полнофункциональной версии УКК [3, 7, 10].

3. По ряду важных направлений работ в сфере КТ Россия имеет достаточно высокие количественные показатели и входит в первую десятку

Таблица 5. Количество работ по квантовым технологиям, выполненным в рамках международного сотрудничества

Страны	США	КНР	ФРГ	Япония	Великобритания	Франция	Россия	Индия	Ю. Корея	Бразилия	Нидерланды
США	114 385	7056	7804	3870	4608	3951	2899	1328	2152	1150	1376
КНР	7056	75 576	1937	1517	1106	733	389	274	753	221	264
ФРГ	7804	1937	55 200	1770	3685	3602	4178	805	548	722	1275
Япония	3870	1517	1770	39 669	1330	1186	807	395	754	147	357
Великобритания	4608	1106	3685	1330	31 494	2246	1186	466	427	501	774
Франция	3951	733	3602	1186	2246	30 174	1796	448	304	647	694
Россия	2899	389	4178	807	1186	1796	29 575	178	273	443	465
Индия	1328	274	805	395	466	448	178	19 533	474	192	103
Ю. Корея	2152	753	548	754	427	304	273	474	14 485	103	68
Бразилия	1150	221	722	147	501	647	443	192	103	10 896	115
Нидерланды	1376	264	1275	357	774	694	465	103	68	115	7736

стран. В международном сотрудничестве по квантовым технологиям основными партнерами российских ученых являются специалисты из Германии, США, Франции и Великобритании; крайне низко взаимодействие России с крупнейшими азиатскими странами — Китаем, Японией, Индией и Республикой Корея.

Необходимо отметить возможные искажения полученных результатов из-за ограничений используемого инструментария — научометрического анализа (более подробно преимущества и недостатки этого подхода рассмотрены в [20]). Так, в данной работе выборка была составлена только из англоязычных публикаций. Отдельно не оценивались российские статьи, не вошедшие в международную БД Web of Science, но содержащиеся в русскоязычной цифровой научной библиотеке eLibrary (в том числе проиндексированные в европейской БД Scopus). В связи с этим можно предположить некоторое занижение публикационной активности «неанглоязычных» стран в проведенных исследованиях. В дальнейшем представляют интерес формирование и анализ выборки из печатных трудов, проиндексированных в БД Scopus, в которой, как представляется, показатели ряда стран (включая Россию) будут несколько выше, а также сопоставление и выявление различий в оценках, полученных на выборках из БД Web of Science и БД Scopus.

ЛИТЕРАТУРА

- Нильсен М., Чанг И.** Квантовые вычисления и квантовая информация. — М.: Мир, 2006. — 824 с.
- Валиев К. А., Кокин А. А.** Квантовые компьютеры: надежда и реальность. — Ижевск: РХД, 2001. — 352 с.
- Богданов Ю. И., Валиев К. А., Кокин А. А.** Квантовые компьютеры: достижения, трудности реализации и перспективы / Микроэлектроника. 2011. Т. 40. № 4. С. 243 – 255.
- Walther P., Resch K. J., Rudolph T., Schenck E., Weinfurter H., Vedral V., Aspelmeyer M., Zeilinger A.** Experimental one-way quantum computing / Nature. 2005. Vol. 434. P. 169 – 176.
- Хель И.** 10 невероятных последствий развития квантовых технологий / Hi-News.ru. 2017. <https://hi-news.ru/technology/10-neveroyatnyx-posledstvij-razvitiya-kvantovyx-tehnologij.html> (дата обращения 5.01.2018).
- Бочаров Л. Ю., Буханец Д. И., Жуков А. О.** Использование квантовых информационных технологий при разработке сложных технических систем / Электромагнитные волны и электронные системы. 2014. Т. 19. № 11. С. 4 – 9.
- Львовский А.** Квантовый компьютер и квантовые технологии. — Квантовый центр «Сколково», 2016. <https://www.youtube.com/watch?v=VfEstE2TuhU> (дата обращения 5.01.2018).
- Quantum manifesto. — European Commissionm 2016. <http://europe.eu/manifesto> (дата обращения 5.01.2018).
- Future Directions for NSF Advanced Computing Infrastructure to Support. U. S. Science and Engineering in 2017 – 2020. — Washington: The National Academic press, 2014. — 34 p.
- Advancing Quantum Information Science: National Challenges and Opportunities. — Washington: National Science and Technology Council, 2016. — 16 p.

- Chen L., Jordan S., Liu Y-K., Moody D., Peralta R., Perlner R., Smith-Ton D. Report on Post-Quantum Cryptography. Washington: NIST, 2016. — 15 p.
- Богданов Ю. И., Кокин А. А., Лукичев В. Ф., Орликowski А. А., Семенихин И. А., Чернявский А. Ю.** Квантовая механика и развитие информационных технологий / Информационные технологии и вычислительные системы. 2012. № 1. С. 17 – 31.
- Олейникова А. В., Сурудин Д. С., Шафеев Д. Е.** Квантовые компьютеры: надежды и реальность / Перспективы развития информационных технологий. 2016. № 30. С. 145 – 153.
- Баулин А.** Квантовая гонка: победитель получает все / Life.ru. 2016. https://life.ru/t/tehnologii/407777/kvantovaia_ghonka_pobieditel_poluchait_vsiro (дата обращения 5.01.2018).
- Технологические прорывы 2017 года. Когда появятся квантовые компьютеры / Econet.ru. 2017. <https://econet.ru/articles/165528-tehnologicheskie-proryvy-2017-goda-kogda-poya-vyatsya-kvantovye-kompyutery> (дата обращения 5.01.2018).
- Позычанок В.** Будущее наступило: когда без квантовых компьютеров не получится обойтись / Технологии и медиа. 2018. № 1 – 2.
- Орлов А. И.** Прикладная статистика. — М.: Экзамен, 2006. — 671 с.
- Орлов А. И.** Какие гипотезы можно проверять с помощью двухвыборочного критерия Вилкоксона / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 1999. Т. 65. № 1. С. 51 – 56.
- Квантовый компьютер D-Wave 2000Q за 15 млн. долларов / IT News. 2017. <http://information-technology.ru/news/6263-kvantovuj-kompyuter-d-wave-2000q-za-15-mln-dollarov> (дата обращения 5.01.2018).
- Наукометрия и экспертиза в управлении наукой / Под ред. Д. А. Новикова, А. И. Орлова, П. Ю. Чеботарева / Управление большими системами. Сб. трудов. Вып. 44. — М.: ИПУ РАН, 2013 — 568 с.

REFERENCES

- Nilsen M., Chang I. Quantum computing and quantum information. — Moscow: Mir, 2006. — 824 p. [Russian translation].
- Valiev K. A., Kokin A. A. Quantum computers: hope and reality. — Izhevsk: RKhD, 2001. — 352 p. [in Russian].
- Bogdanov Yu. I., Valiev K. A., Kokin A. A. Quantum computers: achievement, challenges and prospects / Mikroelektronika. 2011. Vol. 40. N 4. P. 243 – 255 [in Russian].
- Walther P., Resch K. J., Rudolph T., Schenck E., Weinfurter H., Vedral V., Aspelmeyer M., Zeilinger A. Experimental one-way quantum computing / Nature. 2005. Vol. 434. P. 169 – 176.
- Khel' I. 10 improbable consequences of development of quantum technologis. — Hi-News.ru. 2017. <https://hi-news.ru/technology/10-neveroyatnyx-posledstvij-razvitiya-kvantovyx-tehnologij.html> (accessed 5.01.2018) [in Russian].
- Bocharov L. Yu., Buhane D. I., Zhukov A. O. Use of quantum information technologies in the development of complex technical systems / Elektromagn. Volny Elektron. Sist. 2014. Vol. 19. N 11. P. 4 – 9 [in Russian].
- L'vovskii A. Quantum computer and quantum technologies. — The quantum center «Skolkovo». 2016. <https://www.youtube.com/watch?v=VfEstE2TuhU> (accessed 5.01.2018) [in Russian].
- Quantum manifesto. — European Commissionm 2016. <http://europe.eu/manifesto> (accessed 5.01.2018).
- Future Directions for NSF Advanced Computing Infrastructure to Support. U. S. Science and Engineering in 2017 – 2020. — Washington: The National Academic press, 2014. — 34 p.
- Advancing Quantum Information Science: National Challenges and Opportunities. — Washington: National Science and Technology Council, 2016. — 16 p.
- Chen L., Jordan S., Liu Y-K., Moody D., Peralta R., Perlner R., Smith-Ton D. Report on Post-Quantum Cryptography. Washington: NIST, 2016. — 15 p.

12. **Bogdanov Yu. I., Kokin A. A., Lukichev V. F., Orlikovskii A. A., Semenikhin I. A., Chernyavskii A. Yu.** Quantum mechanics and the development of information technology / Inf. Tekhnol. Vychisl. Sist. 2012. N 1. P. 17 – 31 [in Russian].
13. **Oleinikova A. V., Surudin D. S., Shafeev D. E.** Quantum computers: hopes and reality / Persp. Razv. Inf. Tekhnol. 2016. N 30. P. 145 – 153 [in Russian].
14. **Baulin A.** Quantum race: the winner takes it all. — Life.ru. — 2016. https://life.ru/t/tekhnologii/407777/kvantovaia_ghonka_pobeditiel_poluchaiet_vsio (accessed 5.01.2018) [in Russian].
15. Technological breakthroughs in 2017. When there will be quantum computers / Econet.ru. 2017. <https://conet.ru/articles/165528-tehnologicheskie-proryvy-2017-goda-kogda-poyavyatsya-kvantovye-kompyutery> (accessed 5.01.2018) [in Russian].
16. **Pozychanyuk V.** The future is now: when will be able to do / Tekhnol. Media. 2018. N 1 – 2.
17. **Orlov A. I.** Applied statistics. — Moscow: Ékzamen, 2006. — 671 p. [in Russian].
18. **Orlov A. I.** What hypotheses can be tested using the two-sample Wilcoxon test / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 1999. Vol. 65. N 1. P. 51 – 56 [in Russian].
19. Quantum computer D-Wave 2000Q for \$ 15 million / IT News. 2017. <http://information-technology.ru/news/6263-kvantovyj-kompyuter-d-wave-2000q-za-15-mln-dollarov> (accessed 5.01.2018) [in Russian].
20. **Novikova D. A., Orlova A. I., Chebotareva P. Yu., eds.** Scientometry and expertise in science management / Management of large systems. Collection of Works. Issue 44. — Moscow: IPU RAN, 2013. — 568 p. [in Russian].